

# **REDES DE ACESSO**

**Mário Serafim dos Santos Nunes**

Parte A - Arquitecturas e Tecnologias

Parte B - Protocolos de Acesso

Parte C - Tecnologias de Acesso DSL

Parte D - Redes Híbridas Fibra - Cabo Coaxial (HFC)

Parte E - Redes de Acesso de Fibra Óptica

Parte F - Redes de Acesso Rádio

**Instituto Superior Técnico**

Setembro de 2006

**REDES DE ACESSO  
MULTI-SERVIÇO**

**Mário Serafim dos Santos Nunes**

mario.nunes@inesc.pt

Área Científica de Computadores

Departamento de Engenharia Electrotécnica e de Computadores

Instituto Superior Técnico

Universidade Técnica de Lisboa

Lisboa

Setembro de 2006



# REDES DE ACESSO

## Parte A

### Arquitecturas e Tecnologias

#### ÍNDICE

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| <b>1</b> | <b>INTRODUÇÃO</b>   | <b>2</b>  |
| 1.1      | Problemas na linha de cliente                             | 2         |
| 1.2      | Requisitos de débito das aplicações                       | 3         |
| 1.3      | Crescimento de tráfego de voz, dados e vídeo              | 3         |
| 1.4      | Comutação de circuitos e de pacotes                       | 4         |
| 1.5      | Perspectivas de resolução dos problemas da rede de acesso | 4         |
| <b>2</b> | <b>MODELOS DE ARQUITECTURAS DE ACESSO</b>                 | <b>5</b>  |
| <b>3</b> | <b>TECNOLOGIAS</b>  | <b>6</b>  |
| 3.1      | Tecnologias de redes de acesso                            | 6         |
| 3.2      | Redes domésticas  | 8         |
| 3.3      | Acesso à Internet em banda larga em Portugal              | 9         |
|          | <b>REFERÊNCIAS</b>  | <b>10</b> |
|          | <b>ACRONIMOS</b>  | <b>11</b> |



# 1 Introdução

A rede de acesso (*access network*) é constituída pelo conjunto de equipamentos que permitem a ligação adequada dos utilizadores à rede principal (*core network*) de modo a obter acesso a um conjunto alargado de serviços com adequada qualidade de serviço a um custo razoável.

## 1.1 Problemas na linha de cliente

As **linhas de cliente** (*local loop*) das redes telefónicas actuais apresentam alguns **problemas**, de que se destacam:

- o Foram projectadas para serviços analógicos de voz, não para dados ou vídeo;
- o Limitam fortemente as aplicações de débito elevado, como por exemplo o acesso à Internet (WWW), transferência de ficheiros, multimédia.

Para além destes, os operadores também se debatem com outros tipos de **problemas** relacionados com o **tráfego das novas aplicações**:

- o As redes dorsais (*core*) não estão dimensionadas para suportar o tráfego dos utilizadores actuais, com forte e contínuo crescimento;
- o As chamadas de dados, nomeadamente os acessos à Internet, têm duração muito superior à da voz (2 minutos versus 10 minutos).

As **futuras redes de acesso** deverão possuir um conjunto de **requisitos**, que se enunciam:

- o **Flexibilidade** para adaptação a novas aplicações e serviços com características muito diferentes em termos de padrões de tráfego e tipos. A disponibilidade de tecnologias e arquitecturas com capacidade para rapidamente satisfazer novos pedidos será um factor determinante de sucesso para os operadores.
- o **Débito elevado** é um requisito fundamental que afecta a escolha de entre as várias opções técnicas disponíveis. No futuro próximo o desenvolvimento de aplicações e serviços de banda larga, nomeadamente as aplicações multimédia e a interligação de LANs, implica a necessidade de elevadas larguras de banda, quer para os utilizadores domésticos, quer empresariais.
- o Acessos de **baixo custo** são necessários, em particular para os utilizadores domésticos, de modo a diminuir os riscos de investimento associados à introdução de novas tecnologias de acesso em ambiente desregulamentado.
- o **Qualidade de serviço** adequada para os diversos serviços oferecidos, nomeadamente em termos de fiabilidade, acessibilidade e segurança das comunicações.

Há actualmente uma grande diversidade de meios utilizados em redes de acesso, bem como das tecnologias utilizadas em cada um deles. A evolução tecnológica é muito rápida nesta área pelo que não é possível indicar sem margem de erro qual a tecnologia ou tecnologias mais adequadas para as redes de acesso a longo prazo.



## 1.2 Requisitos de débito das aplicações

Os estudos publicados por várias empresas mostram que há enormes diferenças entre o tráfego de voz, dados e vídeo na Internet. Estudos publicados quer pelos Bell Labs quer por medições de tráfego em operadores nacionais [1], mostram que o tráfego na Internet é fortemente assimétrico. Na tabela 1 mostram-se alguns valores de fluxos na Internet, do estudo da Bell Labs.

Tabela 1 - Perfil de tráfego na Internet

| Tipo de fluxo          | % de fluxos | % de octetos | Número médio de pacotes | Número médio de octetos |
|------------------------|-------------|--------------|-------------------------|-------------------------|
| Servidor Web → Cliente | 20          | 34           | 16                      | 8270                    |
| Cliente → Servidor Web | 23          | 3            | 12                      | 710                     |
| Mbone                  | 0,01        | 20           | 10 K                    | 6,3 M                   |
| DNS                    | 31          | 3            | -                       | -                       |
| Outros                 | 26          | 40           | -                       | -                       |

Várias conclusões se podem tirar da tabela anterior:

- o O número de fluxos e de pacotes Web é sensivelmente igual nos dois sentidos;
- o O volume de tráfego da rede para o cliente é uma ordem de grandeza superior ao do tráfego em sentido inverso (90% / 10%);
- o O número de fluxos de Mbone é muito baixo mas o tráfego é muito elevado;
- o O tráfego DNS e de outros tipos é desprezável.

## 1.3 Crescimento de tráfego de voz, dados e vídeo

As estatísticas de crescimento de tráfego de voz e dados nos últimos anos mostram um crescimento lento do tráfego de voz e muito elevado do tráfego de dados e vídeo. A taxa de crescimento da voz é de cerca de 10-20% por ano, enquanto que as taxas de crescimento de dados e de vídeo ronda os 100%, isto é, quase duplica em cada ano. As razões deste aumento exponencial do tráfego de dados e vídeo estão fortemente ligadas ao crescente uso da Internet e ao crescimento explosivo das aplicações Web com conteúdos graficamente muito ricos, nomeadamente com imagens coloridas e com uma resolução crescente.

A pesar dos progressos na codificação de imagens, nomeadamente JPEG (Joint Photographic Experts Group), o aumento da qualidade das imagens disponibilizadas nos Servidores Web faz com que o tempo de descarregamento de uma imagem de boa qualidade seja excessivo para acessos com Modem. Por exemplo, utilizando um Modem V.90 assíncrono (10 bit/carácter) a 56 Kbit/s, uma imagem de 100 Kbytes demora 17,5 segundos a ser descarregada, um tempo demasiado elevado para a maioria dos utilizadores.

A necessidade de maiores débitos de acesso por parte dos utilizadores empresariais e residenciais tem feito crescer a pesquisa e a oferta de novas tecnologias de acesso, procurando-se obter débitos tão elevados quanto possível, ao mais baixo custo.



## 1.4 Comutação de circuitos e de pacotes

A comutação de circuitos tem sido utilizada durante muitos anos, proporcionando aos utilizadores uma comutação rápida e elevados débitos de transmissão. Esta tecnologia caracteriza-se por proporcionar uma reserva de débito para cada utilizador durante todo o período de utilização do circuito, o que proporciona uma elevada qualidade de serviço mas uma má eficiência de utilização, uma vez que os utilizadores em geral não estão a utilizar permanentemente os recursos da rede postos à sua disposição.

Nos sistemas de transmissão actuais a comutação de circuitos está geralmente associada à multiplexagem por divisão no tempo TDM (Time Division Multiplexing), normalizada em hierarquias de transmissão digital, de que a linha E1 a 2 Mbps é o exemplo mais usado na Europa, a que corresponde o T1 a 1,5 Mbps nos EUA.

A comutação de circuitos TDM é adequada para aplicações que necessitam de um débito constante por um período de tempo longo, em que ocupam intervalos de tempo (*time-slots*) fixos do sistema de transmissão TDM. Contudo esta tecnologia não é eficiente para aplicações que têm grandes e rápidas variações de débito ao longo do tempo, como é em geral o caso das aplicações de dados.

A técnica mais usada nas últimas décadas para transporte de serviços de dados com fortes variações de débitos é a comutação de pacotes, que permite a multiplexagem estatística de vários utilizadores no mesmo sistema de transmissão. As tecnologias de comutação de pacotes das redes públicas têm evoluído no sentido de uma menor complexidade da rede, começando com o X.25, seguido do Frame Relay e mais recentemente com o ATM (Asynchronous Time Multiplexing).

Nas redes de acesso pretende-se uma elevada eficiência de utilização do débito disponível, em geral escasso, e simultaneamente uma elevada qualidade de serviço, em especial para os serviços de tempo real. A necessidade de melhoramento das redes de acesso, aliadas ao enorme mercado potencial das redes de acesso tem motivado um intenso esforço de investigação e desenvolvimento nos últimos anos nesta área, de que resultou uma variedade de tecnologias de acesso, algumas já normalizadas, outras em fase de normalização e outras ainda na fase de especificação e de protótipo laboratorial.

## 1.5 Perspectivas de resolução dos problemas da rede de acesso

O problema do estrangulamento do débito no acesso pode ser resolvido à custa de várias operações que se enunciam:

1. Aumento dos débitos da linha de acesso. Este aumento pode ser conseguido de dois modos diferentes:
  - a. Melhoria dos esquemas de modulação e codificação de modo a aumentar a eficiência dos meios existentes. Exemplos são a introdução de técnicas de modulação que permitem elevar o índice de Bit/Hz, como o QAM;
  - b. Melhoria dos meios utilizados no acesso, eventualmente através da sua substituição por outros que permitam maiores débitos. Exemplos são a substituição do par entrançado por cabo UTP, cabo coaxial ou fibra óptica.
2. Desenvolver protocolos que utilizem melhor a capacidade da linha de acesso. No passado utilizou-se quase exclusivamente comutação de circuitos com linhas analógicas ou digitais E1, mas actualmente as aplicações têm outros requisitos, que requerem débito assimétrico, débito a pedido, débito variável.



3. Expandir a capacidade da rede dos operadores. Por exemplo, nos EUA há os operadores locais (LEC, *Local Exchange Carrier*), os operadores de longa distância (IC ou IXC, *Interexchange Carrier*) e os operadores de Internet (ISP, *Internet Service Provider*). Esta divisão de operadores tem de ser redefinida de modo a integrar as diferentes funcionalidades necessárias a um operador de serviços integrados.

## 2 Modelos de arquiteturas de acesso

O organismo de normalização europeu ETSI apresenta no guia EG 202 306 [2] uma panorâmica das redes de acesso para clientes residenciais e respectivas normas.

O modelo de referência de rede de acesso do ETSI [3] e ITU-T [4], [5] é apresentado na figura 1.

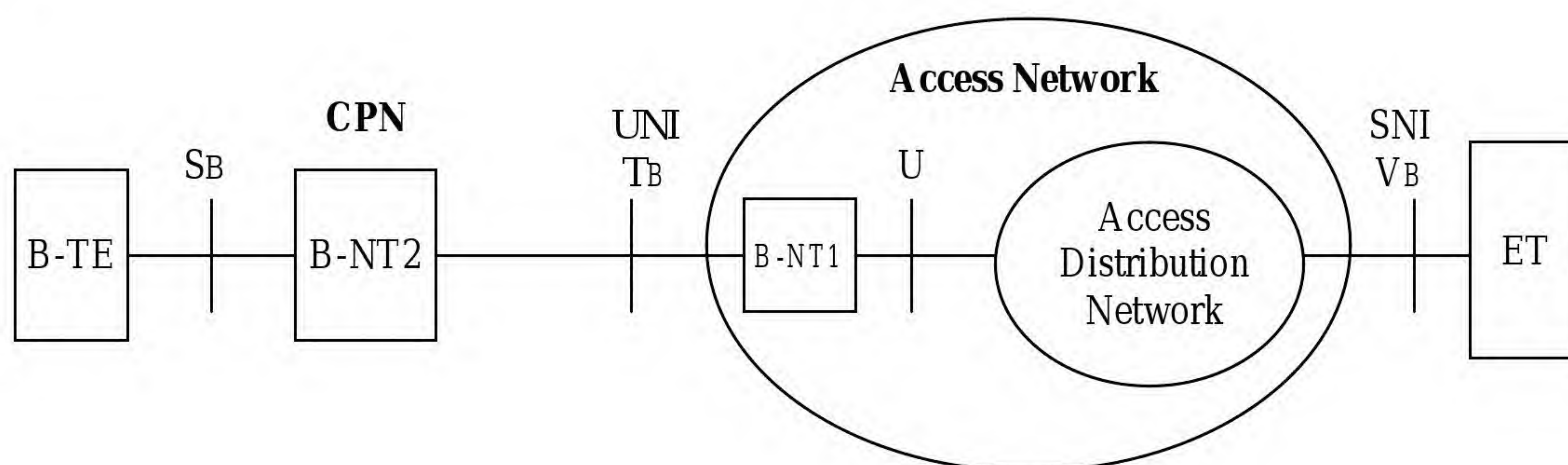


Figura 1. - Modelo de referência de rede de acesso do ETSI e ITU-T

O ATM Forum definiu um modelo de referência de rede de acesso [6] equivalente, que se apresenta na figura 2.

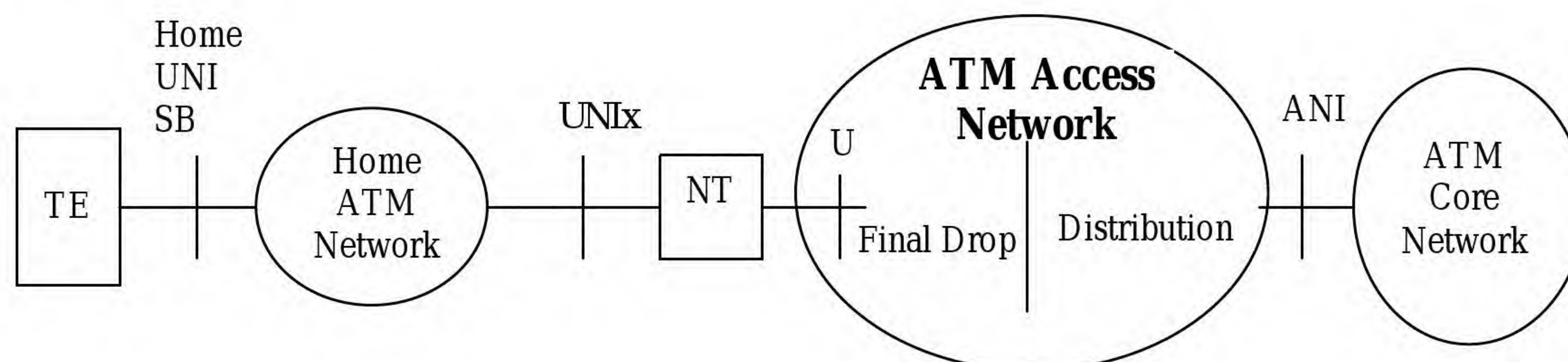


Figura 2. - Modelo de referência de rede de acesso do ATM Forum

No guia do ETSI são identificadas as seguintes interfaces UNI com fios:

- o Telefonia Analógica (POTS)
- o Interfaces e dados (Série V)
- o Linha alugadas analógicas
- o Linha alugadas digitais
- o Interface Básica RDIS
- o Interface Primária RDIS
- o RDIS-BL 2 048 kbit/s
- o RDIS-BL 25,6 Mbit/s
- o RDIS-BL 155,520 Mbit/s



- o RDIS-BL 622,08 Mbit/s
- o High bit rate Digital Subscriber Line (HDSL)
- o Asymmetric Digital Subscriber Line (ADSL)
- o Very High Speed Digital Subscriber Line (VDSL)
- o Distribuição de TV por Cabo analógica
- o Distribuição de TV por Cabo digital
- o Canal de interacção para redes de TV por cabo
- o Ethernet

No mesmo guia do ETSI são identificadas as seguintes interfaces UNI sem fios:

- o GSM/DCS 1800
- o DECT
- o UMTS

São definidas as seguintes interfaces SNI (Service Node Interface) entre a rede de acesso e a rede *Core*:

- o Narrowband SNIs: V5.1 e V5.2
- o Broadband SNIs : VB5.1 e VB5.2

### 3 Tecnologias

Faz-se em seguida uma análise sucinta das principais tecnologias de redes de acesso e de redes domésticas/empresariais actualmente existentes.

#### 3.1 Tecnologias de redes de acesso

Antes do aparecimento das tecnologias ditas de “banda larga”, os Modems eram o equipamento mais utilizado para acesso a redes de dados, nomeadamente à Internet, senão apesar do seu baixo débito ainda o meio mais utilizado actualmente. Para se ter uma ideia da evolução tecnológica dos Modems, apresentam-se na Tabela 2 as características básicas dos principais Modems normalizados pelo ITU-T.

Tabela 2 - Modems de banda de voz

| <b>Norma</b> | <b>Débito (bit/s)<br/>(Down/Up)</b> | <b>Taxa de sím-<br/>bolos (Baud)</b> | <b>Tipo de<br/>Modulação</b> | <b>Data</b> |
|--------------|-------------------------------------|--------------------------------------|------------------------------|-------------|
| V.26         | 2400                                | 1200                                 | DPSK                         | 1968        |
| V.27         | 4800                                | 1600                                 | DPSK                         | 1972        |
| V.29         | 9600                                | 2400                                 | 16-QAM                       | 1976        |
| V.32         | 9600                                | 2400                                 | 32-QAM                       | 1984        |
| V.33         | 14400                               | 2400                                 | 128-QAM                      | 1988        |
| V.34         | 33600                               | 4800                                 | 256-QAM                      | 1996        |
| V.90         | 56000/33000                         | 8000                                 | PCM                          | 1998        |
| V.92         | 56000/48000                         | 8000                                 | PCM                          | 2000        |

Embora haja vários critérios para classificar as tecnologias de acesso, a mais comum baseia-se numa classificação com base no meio de transmissão, como se indica:



- Pares Entrançados metálico
- Cabo Coaxial
- Fibra Óptica
- Acesso sem fios (rádio)
- Linha de Energia (PLC, *Power Line Communication*)

As tecnologias baseadas em pares de cobre (HDSL, ADSL, VDSL) são actualmente muito utilizadas pelos operadores telefónicos para proporcionar serviços de débito elevado, nomeadamente *Video-on-demand* e serviços multimédia com baixo investimento, uma vez que a rede local de cliente baseada em pares de cobre é quase totalmente reutilizável.

A arquitectura HFC (*Hybrid-Fiber Coax*) é igualmente muito popular entre os operadores de televisão por cabo, uma vez que com investimentos reduzidos é possível reutilizar o cabo coaxial usado nos serviços de difusão de televisão, acrescentando-lhe funcionalidades de interactividade através de um canal de retorno partilhado.

As arquitecturas baseadas em fibra óptica (FTTH, FTTB, FTTC e PON/APON) são as tecnologias mais promissoras a médio prazo devido ao seu maior débito e menores taxas de erros. A sua introdução é todavia limitada pelos maiores custos por cliente, que atingem o máximo valor para o caso da FTTH e menor para a PON/APON.

As tecnologias baseadas em radiofrequência ou microondas estão numa fase de crescimento rápido, nomeadamente a MMDS, LMDS e WiMax/ IEEE 802.16, os quais permitem a instalação de serviços de distribuição de elevado débito, nomeadamente televisão comercial e no futuro televisão interactiva. A tecnologia DBS (Direct Broadcast Satellite) também está em crescimento na Europa e EUA, sendo de prever a sua rápida expansão para transmissão de canais de vídeo digital.

As tecnologias PLC ainda estão numa fase embrionária, contudo assiste-se actualmente a um grande esforço, nomeadamente europeu, para promover esta tecnologia.

Na tabela 3 apresentam-se as tecnologias mais utilizadas actualmente em redes de acesso e as suas principais características, que serão analisadas ao longo do curso.

Tabela 3 - Meios e tecnologias mais utilizadas na rede de acesso

| <b>Tecnologia</b> | <b>Meio</b>                    | <b>Ritmo (bit/s)</b>  | <b>Distância</b> |
|-------------------|--------------------------------|---|------------------|
| HDSL/<br>SHDSL    | Par de cobre                   | 2 M   | 4 Km             |
| ADSL              | Par de cobre                   | 1.5 - 6 M (rede-utilizador)<br>64 - 640 K (utilizador-rede) | 3-5 Km           |
| VDSL              | Par de cobre                   | 13-52 M (rede-utilizador)<br>1.5-2.3 M (utilizador-rede)    | 100-200 m        |
| HFC               | Fibra óptica /<br>Cabo coaxial | N x 34 M (rede-utilizador)<br>3 - 15 M (utilizador-rede)    | 80 Km            |
| FTTH              | Fibra óptica                   | 155 M   | 100 Km           |
| PON/APON          | Fibra óptica                   | 155 M (rede-utilizador)<br>2-10 M (utilizador-rede)         | 100 Km           |



|               |                                |                            |         |
|---------------|--------------------------------|----------------------------|---------|
| FTTB          | Fibra óptica /<br>Par de cobre | 25 M                       | 100 Km  |
| FTTC          | Fibra óptica /<br>Par de cobre | 6 M                        | 100 Km  |
| MMDS,<br>LMDS | Microondas                     | N x 34 M (rede-utilizador) | 30 Km   |
| DBS           | Satélite                       | N x 34 M (rede-utilizador) | 6000 Km |

HDSL - High Bit Rate Digital Subscriber Line  
 ADSL - Asymmetric Digital Subscriber Line  
 VDSL - Very High Speed Digital Subscriber Line  
 APON - ATM PON - Passive Optical Network  
 LMDS - Local Multi-point Distribution System  
 MMDS - Microwave Multi-point Distribution Systems

HFC - Hybrid Fiber-Coax  
 FTTH - Fiber To The Home  
 FTTB - Fiber To The Building  
 PON - Passive Optical Network  
 FTTC - Fiber To The Curb  
 DBS - Direct Broadcast Satellite

## 3.2 Redes domésticas

Apresenta-se uma listagem, não exaustiva, das principais tecnologias de redes domésticas ou empresariais actualmente existentes.

### Redes com fios

- Ethernet
- Linha de energia (PLC)
- Linha telefónica

### Redes sem fios

- DECT
- IEEE 802.11, b, g, a
- HIPERLAN
- Bluetooth / IEEE 802.15.3
- UWB

As diferentes tecnologias de redes domésticas/empresariais serão igualmente analisadas no curso, assim como a sua integração com as redes de acesso, de modo a aumentar a capacidade e eficiência do sistema de comunicações global, procurando simultaneamente manter o equipamento de assinante a um custo o mais baixo possível, afim de promover a sua massificação.



### 3.3 Acesso à Internet em banda larga em Portugal

Segundo dados divulgados pela ANACOM, a taxa de penetração em Portugal é de 11,5%. A tabela seguinte mostra a repartição dos acessos por tecnologia de suporte.

Tabela 4 – Penetração de tecnologias de acesso em Portugal (finais 2005)

| <b>Tecnologia</b>  | <b>Valor</b> |
|--|--------------|
| ADSL   | 47,2%        |
| Cabo (HFC)   | 46,6%        |
| 3G (UMTS+CDMA450)<br>- 50% cartão de acesso<br>- 50% telemóvel ligado a PC | 3%           |
| PLC  | 1,2%         |
| Outras (FWA, etc.)   | 2,0%         |



## ***Referências***

- [1] Uyless Black, "Residential Broadband Networks: XDSL, HFC and Fixed Wireless Access", Prentice Hall PTR, 1998.
- [2] ETSI Guide EG 202 306 V1.2.1, Transmission and Multiplexing (TM); Access networks for residential customers, May 1998.
- [3] ETSI EG 202 306, "Transmission and Multiplexing (TM); Access Networks for residential customers", May 1998.
- [4] ITU-T I.413, "B-ISDN User-network interface", March 1993.
- [5] ITU-T I.414, "Overview of Recommendations on layer 1 for ISDN and B-ISDN Customer Accesses", March 1993.
- [6] ATM Forum, "Residential Broadband Architectural Framework", July, 1998.



## ***Acrónimos***

|         |  |
|---------|--|
| ADSL    | Asymmetric Digital Subscriber Line                               |
| APON    | ATM PON  |
| ATM     | Asynchronous Transfer Mode                                       |
| CATV    | Community Antenna Television / Cable Television                  |
| DBS     | Direct Broadcast Satellite                                       |
| DCS     | Digital Cellular System  |
| DECT    | Digital Enhanced Cordless Telecommunications                     |
| DNS     | Domain Name System   |
| DPSK    | Differential Phase-Shift Keying                                  |
| DSL     | Digital Subscriber Line  |
| ETSI    | European Telecommunications Standards Institute                  |
| FTTB    | Fiber To The Building  |
| FTTC    | Fiber To The Curb  |
| FTTH    | Fiber To The Home  |
| FITL    | Fibre in the Loop  |
| FWA     | Fixed Wireless Access  |
| GSM     | Global system for Mobile Communications                          |
| HDSL    | High Bit Rate Digital Subscriber Line                            |
| HFC     | Hybrid Fiber-Coax  |
| IXC     | Interexchange Carrier  |
| IEEE    | Institute of Electrical and Electronics Engineers                |
| IP      | Internet Protocol  |
| ISDN    | Integrated Services Digital Network                              |
| ISP     | Internet Service Provider  |
| ITU-T   | International Telecommunication Union - Telecommunication Sector |
| JPEG    | Joint Photographic Experts Group                                 |
| LAN     | Local Area Network   |
| LEC     | Local Exchange Carrier   |
| LMDS    | Local Multi-point Distribution System                            |
| MMDS    | Microwave Multi-point Distribution Systems                       |
| PLC     | Power Line Communication   |
| PON     | Passive Optical Network  |
| POTS    | Plain Old Telephone Service                                      |
| QAM     | Quadrature Amplitude Modulation                                  |
| RDIS    | Rede Digital com Integração de Serviços                          |
| RDIS-BL | RDIS de Banda Larga  |
| SHDSL   | Single-Pair High-Speed Digital Subscriber Line                   |
| SMATV   | Satellite Master Antenna Television                              |
| SNI     | Service Node Interface   |
| UMTS    | Universal Mobile Telecommunication System                        |
| UWB     | Ultra Wide Band  |
| VDSL    | Very High Speed Digital Subscriber Line                          |
| VoIP    | Voice over IP  |
| WWW     | World Wide Web   |